

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ing. Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Arquitectura



COMPARACIÓN CUANTITATIVA ENTRE LADRILLOS CONVENCIONALES DE ARCILLA Y UN LADRILLO A BASE DE MATERIALES PLÁSTICOS PET, COMO UNA ALTERNATIVA DE MATERIAL ECO-EFICIENTE EN EL SISTEMA DE MURO PORTANTE, AREQUIPA 2020

Tesis presentada por las Bachilleres:

**Juárez Mansilla, Nancy Alejandra
Neira López, Andrea Elizabeth**

Para optar el Título Profesional de:

Arquitecto

Asesor:

Arq. Márquez Arrisueño, Víctor

**Arequipa – Perú
2021**

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ARQUITECTURA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 04 de Enero del 2021

Dictamen: 000970-C-EPA-2021

Visto el borrador de tesis del expediente 000970, presentado por:

2015601802 - NEIRA LOPEZ ANDREA ELIZABETH

2015204332 - JUAREZ MANSILLA NANCY ALEJANDRA

Titulado:

**COMPARACIÓN CUANTITATIVA ENTRE LADRILLOS CONVENCIONALES DE ARCILLA Y UN
LADRILLO A BASE DE MATERIALES PLÁSTICOS PET, COMO UNA ALTERNATIVA DE MATERIAL
ECO-EFICIENTE EN EL SISTEMA DE MURO PORTANTE, AREQUIPA 2020**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1976 - MENDOZA ANTEZANA JORGE ENRIQUE
DICTAMINADOR**



**2469 - ZUÑIGA ALFARO ALVARO EDUARDO
DICTAMINADOR**



**2564 - MARQUEZ ARRISUEÑO VICTOR EDUARDO
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

A Dios, quien me ilumina, bendice y protege mi camino.

A mis padres Nancy y Walter, quienes son mi mayor tesoro, orgullo y bendición.

*A mis hermanos, Laura, Paola y Hugo, quienes son mi gran alegría, orgullo y
ejemplo*

Nancy Alejandra Juárez Mansilla

A Dios por brindarme la sabiduría y fuerza necesaria para realizar ésta investigación,

A mis queridos padres Marcos y Katya por su guía y por ser mi fortaleza

A mi hermano Daniel Joaquín

Andrea Elizabeth Neira López

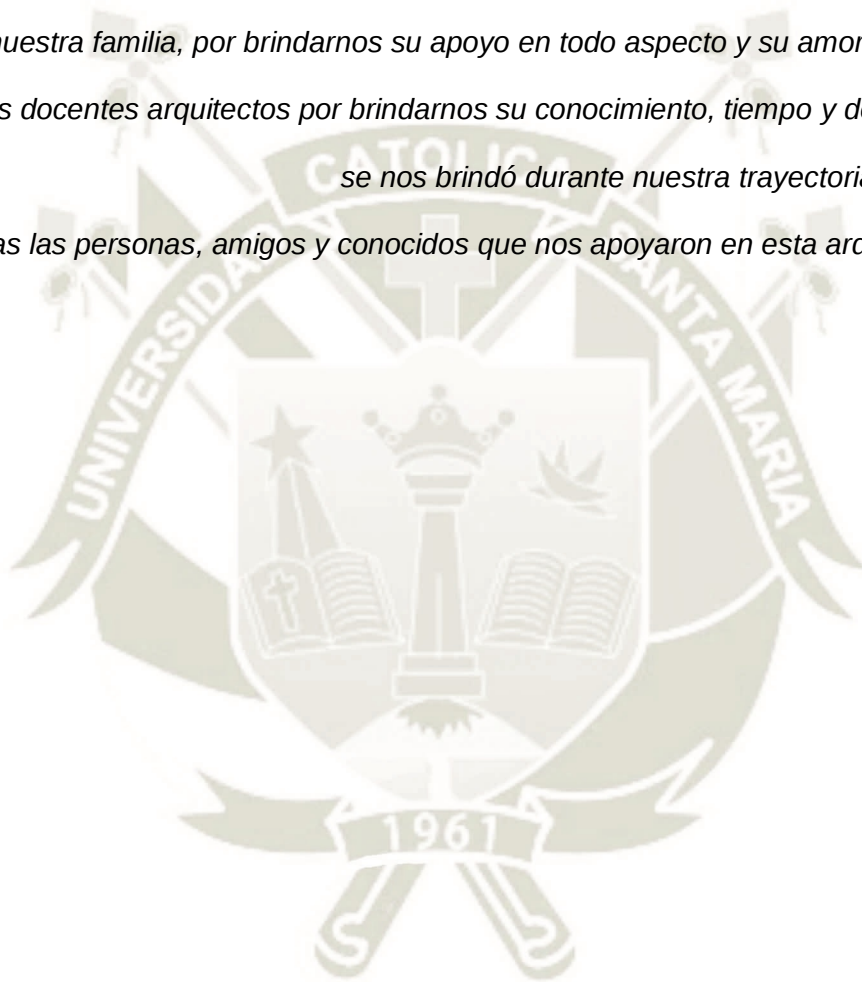
Agradecimientos

A Dios, por brindarnos la sabiduría, fortaleza y perseverancia necesaria para realizar esta investigación.

A nuestra familia, por brindarnos su apoyo en todo aspecto y su amor incondicional.

A nuestros docentes arquitectos por brindarnos su conocimiento, tiempo y dedicación, que se nos brindó durante nuestra trayectoria universitaria.

A todas las personas, amigos y conocidos que nos apoyaron en esta ardua y laboriosa investigación



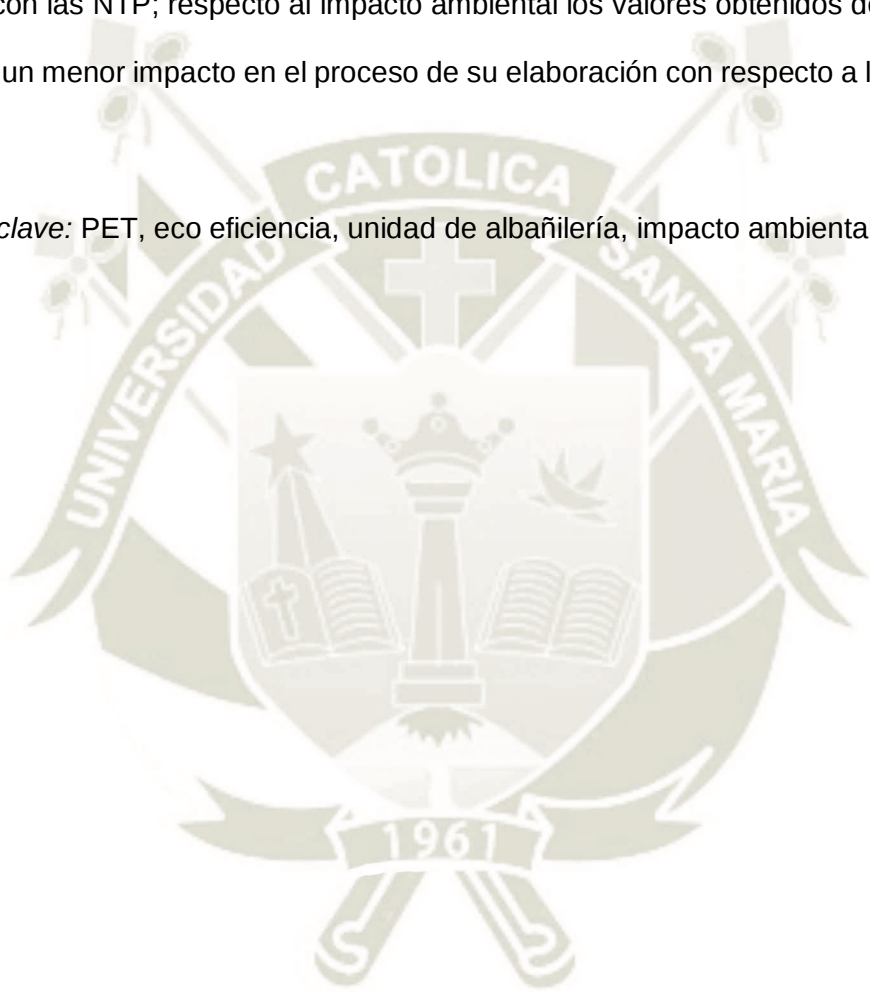
Resumen

El escaso interés de innovar en la composición de nuevos elementos constructivos, origina el uso excesivo de materiales convencionales, como los ladrillos de arcilla en el caso de Arequipa, originando impactos negativos en el ambiente y la salud humana. La presente investigación tiene como objetivo comparar las propiedades físico- mecánicas de un ladrillo convencional de arcilla y un ladrillo a base de plástico PET, con la finalidad de demostrar si el ladrillo PET es eficaz en el sistema de muros portantes y eco-eficiente para el ambiente. Utilizando un diseño metodológico de carácter experimental, en la elaboración de ladrillos patrón de una dosificación de 175 kg/cm^2 , al cual se adicionó 10%,15% y 20% de PET, se realizaron en el laboratorio pruebas comparativas de las propiedades físico-mecánicas en las unidades de arcilla y concreto-PET, de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas (NTP). La resistencia a la compresión fue el principal ensayo para clasificar a las unidades de albañilería, en el caso de los ladrillos concreto – PET se obtuvo como resultados de resistencia a compresión (f'_b) 180.50 kg/cm^2 , 151.06 kg/cm^2 , 150.55 kg/cm^2 , 135.34 kg/cm^2 para 0%,10%,15% y 20% de PET respectivamente; la compresión axial de pilas (f'_m) fue de 178.94 kg/cm^2 , 164.84 kg/cm^2 , 153.24 kg/cm^2 , 126.17 kg/cm^2 para 0%,10%,15% y 20% de PET respectivamente; la resistencia de corte diagonal de muretes (V'_m) fue de 13.35 kg/cm^2 , 11.04 kg/cm^2 , 9.74 kg/cm^2 , 7.13 kg/cm^2 para 0%,10%,15% y 20% de PET respectivamente. Los ladrillos de arcilla de procedencia local, obtuvieron una resistencia a la compresión (f'_b) de 116.4 kg/cm^2 y 134.67 kg/cm^2 , la resistencia a compresión axial de pilas (f'_m) fue 59.34 kg/cm^2 , la resistencia a corte diagonal de muretes (V'_m) fue 10.65 kg/cm^2 . Evaluada la variable ambiental, respecto a la emisión de gases de material particulado 10 , monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), en la elaboración de las unidades de albañilería, según los estándares de calidad del aire del MINAM. Los resultados del ladrillo PET fueron, $\text{MP}_{10}=45.56 \text{ ug/m}^3$, $\text{CO}=1250$

ug/m^3 , $\text{SO}_2=13.0 \text{ ug/m}^3$, $\text{NO}_2=104.17 \text{ ug/m}^3$, en los ladrillos de arcilla $\text{MP}_{10}=243.15 \text{ ug/m}^3$, $\text{CO}=1681 \text{ ug/m}^3$, $\text{SO}_2=13.72 \text{ ug/m}^3$, $\text{NO}_2=8.66 \text{ ug/m}^3$.

La investigación demuestra que los ladrillos de concreto de 175 kg/cm^2 con 10%,15% y 20% de adición PET, son aptos para utilizarlos en el sistema de muros portantes, dado que cumplen con las NTP; respecto al impacto ambiental los valores obtenidos del ladrillo PET muestran un menor impacto en el proceso de su elaboración con respecto a los ladrillos de arcilla.

Palabras clave: PET, eco eficiencia, unidad de albañilería, impacto ambiental



Abstract

The scarce interest to innovate in the composition of new constructive elements, originates the excessive use of conventional materials, like the clay bricks in the case of Arequipa, originating negative impacts in the environment and the human health. The present investigation aims to compare the physical-mechanical properties of a conventional clay brick and a brick based on PET plastic, in order to demonstrate whether the PET brick is effective in the system of load-bearing walls and eco-efficient for the environment. Using a methodological design of experimental character, in the elaboration of standard bricks of a dosage of 175 kg/cm^2 , to which 10%, 15% and 20% of PET was added, comparative tests of the physical-mechanical properties in the units of clay and concrete-PET were made in the laboratory, according to the Peruvian Technical Norms (NTP). The resistance to compression was the main test to classify the masonry units, in the case of the concrete bricks - PET was obtained as results of resistance to compression (f'_b) 180.50 kg/cm^2 , 151.06 kg/cm^2 , 150.55 kg/cm^2 , 135.34 kg/cm^2 for 0%, 10%, 15% and 20% of PET respectively; the axial compression of piles (f'_m) was 178.94 kg/cm^2 , 164.84 kg/cm^2 , 153.24 kg/cm^2 , 126.17 kg/cm^2 for 0%, 10%, 15% and 20% of PET respectively; the diagonal cut resistance of walls (V'_m) was 13.35 kg/cm^2 , 11.04 kg/cm^2 , 9.74 kg/cm^2 , 7.13 kg/cm^2 for 0%, 10%, 15% and 20% of PET respectively. The clay bricks of local origin, obtained a compressive strength (f'_b) of 116.4 kg/cm^2 and 134.67 kg/cm^2 , the axial compressive strength of piles (f'_m) was 59.34 kg/cm^2 , the diagonal cut resistance of walls (V'_m) was 10.65 kg/cm^2 . Evaluated the environmental variable, with respect to the emission of particulate matter 10, carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), in the development of masonry units, according to air quality standards of MINAM. The results of the PET brick were, MP10= 45.56 ug/m^3 , CO= 1250 ug/m^3 , SO₂= 13.0 ug/m^3 , NO₂= 104.17 ug/m^3 , in the clay bricks MP10= 243.15 ug/m^3 , CO= 1681 ug/m^3 , SO₂= 13.72 ug/m^3 , NO₂= 8.66 ug/m^3 . The research reveals that the concrete bricks of 175 kg/cm^2 with 10%,

15% and 20% of PET addition, are suitable for use in the system of supporting walls, since they comply with the NTP; regarding the environmental impact the values obtained from the PET brick demonstrate a lower impact in the process of its elaboration with respect to the clay bricks.

Keywords: PET, eco-efficiency, masonry unit, environmental impact



Introducción

El desarrollo del crecimiento constructivo en el Perú se ha ido incrementando paulatinamente durante los últimos 5 años, siendo para el año 2019 de 1.51%, promovido por la inversión en obras públicas y privadas, según el Instituto Nacional de Estadística e informática (2019), de acuerdo al último censo del INEI (2017), se afirmó que en la ciudad de Arequipa el material más empleado para la construcción de viviendas, es el ladrillo de arcilla y bloque de concreto con un 77.24%, esta cifra demuestra que estos materiales son empleados de manera exclusiva; según el informe de la calidad del aire del Ministerio del Ambiente MINAM (2013), se estima que las ladrilleras de arcilla son una de las principales fuentes de contaminación y emisión de gases contaminantes, siendo perjudiciales para el ambiente y la salud humana.

La presente investigación tiene como propósito desarrollar ladrillos para muros portantes que incorporen en su composición partículas de plástico triturado PET, de tal forma que se busca mitigar el impacto ambiental en el proceso de elaboración del ladrillo y contribuir a reciclaje del plástico.

El documento está compuesto de las siguientes partes:

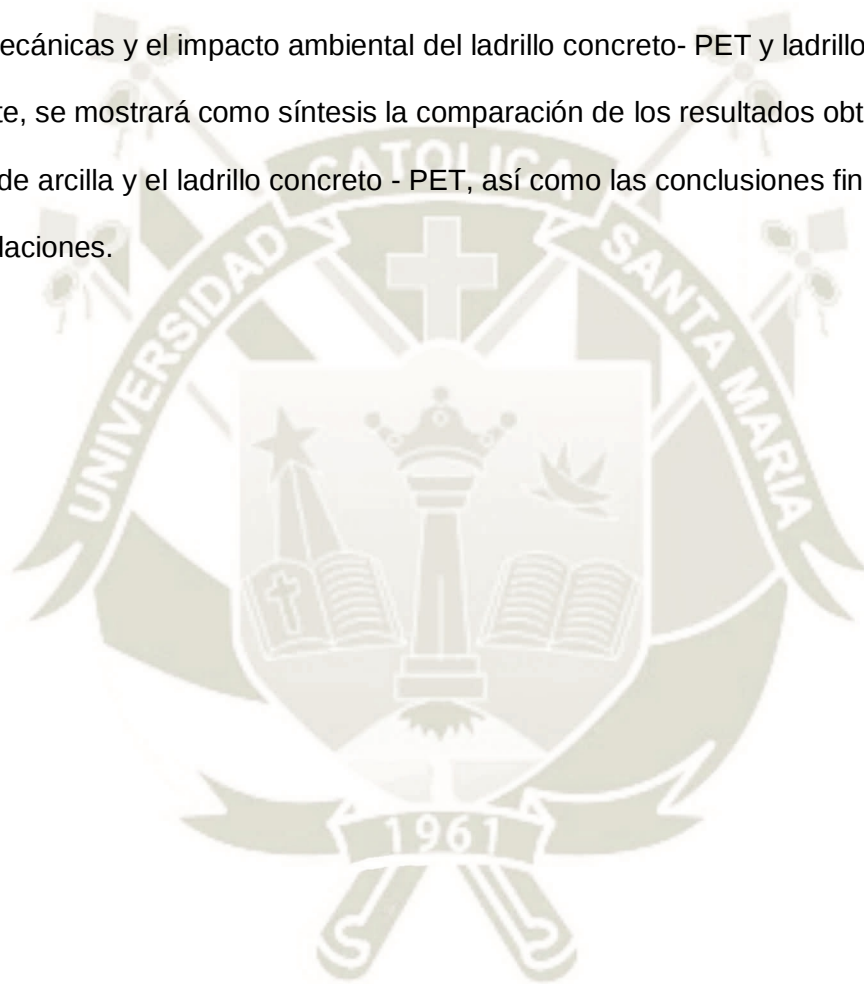
El capítulo I, denominado como Generalidades, hace referencia al planteamiento del problema, la hipótesis, los objetivos, las limitaciones, justificación y metodología de la investigación.

El capítulo II, se refiere al Marco teórico y conceptual, donde se muestra el estado del arte, las bases teóricas y definiciones de términos básicos, enfatizándose las terminologías y definiciones, que contribuyen a comprender mejor el estudio.

El capítulo III, contempla al Marco referencial, en el cual se analiza el proceso de elaboración del ladrillo de arcilla y concreto – PET.

El capítulo IV, hace referencia al Marco Normativo, donde se examina las Normas Técnicas Peruanas que sirvieron como base para realizar los ensayos de laboratorio en los ladrillos de arcilla y ladrillos concreto – PET.

El capítulo V, Marco operativo, se desarrolla el proceso de las etapas que conllevaron a la elaboración del ladrillo concreto –PET, la evaluación de las propiedades físico – mecánicas y el impacto ambiental del ladrillo concreto- PET y ladrillos de arcilla. Finalmente, se mostrará como síntesis la comparación de los resultados obtenidos entre el ladrillo de arcilla y el ladrillo concreto - PET, así como las conclusiones finales y recomendaciones.



Índice General

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	V
Introducción	VII
Índice General	IX
Índice de Tablas	XIII
Índice de Figuras	XVIII
Índice de Gráficos.....	XXII
1. CAPITULO I: Generalidades.....	24
1.1. Planteamiento del problema.....	24
1.2. Formulación del problema	27
1.3. Hipótesis	27
1.4. Variables y definición operacional.....	27
1.4.1. Variable independiente (causa): El elemento constructivo	27
1.4.2. Variable dependiente (efecto): Impacto Ambiental	28
1.5. Objetivos de la investigación	31
1.5.1. Objetivo General	31
1.5.2. Objetivos Específicos	31
1.6. Limitaciones del estudio	31
1.7. Justificación de la investigación	32
1.7.1. Importancia.....	32
1.7.2. Viabilidad	32
1.8. Metodología	33
1.8.1. Enfoque de la investigación	33
1.8.2. Nivel de la investigación.....	34
1.8.3. Método de la investigación.....	34
1.8.4. Diseño metodológico.....	35
1.8.5. Método de muestreo	35
1.8.6. Tamaño de la muestra	36
1.8.7. Técnica e instrumentos	37
1.8.8. Proceso de recolección de datos.....	40
2. CAPITULO II: Marco Teórico y Conceptual	44
2.1. Estado del Arte	44
2.1.1. Internacionales	44
2.1.2. Nacionales.....	48

2.2.	Bases Teóricas	56
2.2.1.	PET (Tereftalato de Polietileno)	56
2.2.2.	Eco eficiencia en la construcción	63
2.2.3.	Ladrillos ecológicos	66
2.2.4.	Unidades de albañilería	67
2.3.	Definiciones de términos básicos	73
2.3.1.	Impacto ambiental	73
2.3.2.	Huella hídrica.....	73
2.3.3.	Calidad del aire.....	73
2.3.4.	Eco innovación de procesos	74
2.3.5.	Material eco eficiente	74
2.3.6.	Muro portante	74
3.	CAPITULO III: Marco Referencial	75
3.1.	Ladrillo de arcilla	75
3.1.1.	Proceso de elaboración del ladrillo de Arcilla	75
3.1.2.	Costos.....	87
3.1.3.	Costo del ladrillo como producto.....	91
3.1.4.	Impacto Ambiental.....	92
3.2.	Ladrillo de PET	97
3.2.1.	Proceso de elaboración del ladrillo de PET	97
3.2.2.	Impacto Ambiental.....	100
4.	CAPITULO IV: Marco Normativo	102
4.1.	Variable: Elemento Constructivo	102
4.1.1.	Reglamento Nacional de Edificaciones E.070.....	102
4.1.2.	NTP. 399.613 2017. Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería	108
4.1.3.	NTP. 399.601 2016. Unidades de Albañilería. Ladrillos de concreto. Requisitos	114
4.1.4.	NTP. 334.009 2016. Cementos. Cemento Pórtland. Requisitos	117
4.1.5.	NTP 400.037 2018. Agregados. Agregados para concreto. Requisitos	119
4.1.6.	NTP 339.034 2015 Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas	135
4.1.7.	NTP. 399.605 2018. Unidades de albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.	138
4.1.8.	NTP 399.621 2004 (revisada el 2015) Unidades de albañilería, Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.....	142
4.2.	Variable: Impacto Ambiental.....	145

4.2.1. Estándares de calidad ambiental MINAM 2017	145
5. CAPITULO V: Marco Operativo	147
5.1. Etapa I: Análisis del impacto ambiental.....	147
5.1.1. Situación de la actividad ladrillera.....	147
5.1.2. Impacto en la calidad del aire	148
5.1.3. Impacto en la morfología del terreno	158
5.1.4. Impacto en la huella hídrica	159
5.1.5. Síntesis y conclusiones.....	161
5.2. Etapa II: Selección de materiales.....	163
5.2.1. Cemento	163
5.2.2. Arena Gruesa	167
5.2.3. Confitillo	168
5.2.4. PET	168
5.2.5. Agua	169
5.2.6. Síntesis y Conclusiones	171
5.3. Etapa III: Diseño y elaboración de dosificación	175
5.3.1. Criterios de evaluación.....	175
5.3.2. Diseño de dosificación	176
5.3.3. Selección de dosificación	191
5.4. Etapa IV: Ensayos de laboratorio	196
5.4.1. Diseño del ladrillo PET	196
5.4.2. Proceso de elaboración del ladrillo PET	201
5.4.3. Ensayos de laboratorio a unidades de albañilería.....	210
5.4.4. Ensayos de laboratorio a probetas de mortero	237
5.4.5. Ensayos de laboratorio a prismas de albañilería.....	238
5.4.6. Calidad ambiental de unidades de albañilería.....	246
5.5. Etapa V: Síntesis y Comparación de datos.....	255
5.5.1. Resultados de las propiedades físico - mecánicas entre ladrillos de arcilla y ladrillos PET	255
5.5.2. Resultados del impacto ambiental entre ladrillos de arcilla y ladrillos PET	257
5.5.3. Gestión del producto	258
5.6. Contraste de la hipótesis	260
5.7. Conclusiones y Recomendaciones	261
5.7.1. Conclusiones	261
5.7.2. Recomendaciones.....	264
Referencia	265

Anexos	277
Registro Fotográfico	341



Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	29
Tabla 2	Propiedades promedio del PET.....	60
Tabla 3	Principales propiedades físicas, químicas del PET	61
Tabla 4	Planilla de Costos y Presupuestos para ladrillos artesanales	87
Tabla 5	Planilla de Costos y Presupuestos para ladrillos Mecanizados	89
Tabla 6	Comparación de utilidades entre ladrillos mecanizados y artesanales	90
Tabla 7	Precio de ladrillo King Kong	92
Tabla 8	Impacto en el aire, la morfología del terreno y el agua.....	93
Tabla 9	Etapas para la elaboración de ladrillos	94
Tabla 10	Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	102
Tabla 11	Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	103
Tabla 12	Granulometría de la arena gruesa	104
Tabla 13	Tipos de mortero.....	105
Tabla 14	Métodos para determinar fm y vm.....	106
Tabla 15	Incremento de fm y vm por edad.....	107
Tabla 16	Resistencias características de la albañilería Mpa(kg/cm ²).....	108
Tabla 17	Requisitos de resistencia y absorción	115
Tabla 18	Requisitos Químicos para Cemento Pórtland	118
Tabla 19	Requisitos Físicos para Cemento Pórtland	118
Tabla 20	Requerimiento de granulometría para agregado fino	119
Tabla 21	Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	121
Tabla 22	Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global para granulometría.....	123
Tabla 23	Tamaño de la muestra de agregado para contenido de humedad	124
Tabla 24	Masa mínima de muestra de ensayo de peso específico.....	127

Tabla 25	Diámetros máximos de especímenes de ensayo	136
Tabla 26	Edades de ensayo y tolerancias permisibles	137
Tabla 27	Factores de corrección altura/espesor para la resistencia en compresión de prismas de albañilería	142
Tabla 28	Estándares de Calidad Ambiental para Aire	145
Tabla 29	Efecto contaminante de los tipos de combustibles utilizados en ladrilleras	150
Tabla 30	Límites máximos permisibles de los gases	151
Tabla 31	Emisión de material particulado por ladrilleras	152
Tabla 32	Emisión de dióxido de azufre por ladrilleras	153
Tabla 33	Emisión de óxido de nitrógeno por ladrilleras	154
Tabla 34	Emisión de monóxido de nitrógeno por ladrilleras	155
Tabla 35	Materia prima para la fabricación de un ladrillo artesanal	160
Tabla 36	Materia prima para la fabricación de un ladrillo mecanizado	160
Tabla 37	Materiales para la construcción de 1m ² de pared con ladrillo King Kong.....	161
Tabla 38	Características Químicas y Físicas de Cemento Pórtland Tipo I	164
Tabla 39	Características Químicas y Físicas de Cemento Pórtland Tipo IP	165
Tabla 40	Requisitos Físicos de Cemento Portland Yura Tipo HE	166
Tabla 41	Características de agregado fino	167
Tabla 42	Características del agregado grueso	168
Tabla 43	Características del PET como agregado.....	169
Tabla 44	Efectos negativos sobre el concreto, si se superan los valores límites permisibles de sustancias en el agua	170
Tabla 45	Comparación de Propiedades Químicas y Físicas de Cementos Portland	171
Tabla 46	Propiedades de Agregados	173
Tabla 47	Datos a utilizar para la dosificación de mezcla	177
Tabla 48	Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción	179

Tabla 49	Contenido aproximado del aire en el concreto.....	180
Tabla 50	Volumen unitario de agua.....	181
Tabla 51	Resistencia requerida de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.....	182
Tabla 52	Resistencias especificadas y promedios a evaluar	182
Tabla 53	Relación agua/cemento por resistencia	183
Tabla 54	Contenido de Cemento.....	185
Tabla 55	Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	185
Tabla 56	Conversión de Peso a Volumen para $f'c$ 175 kg/m ²	186
Tabla 57	Conversión de Peso a volumen para $f'c$ 210 kg/m ²	187
Tabla 58	Comparación de diseño de mezclas en Estado Seco	188
Tabla 59	Corrección por humedad de agregados.....	189
Tabla 60	Cálculo de agua efectiva de la mezcla.....	189
Tabla 61	Diseño de dosificación para m3 de concreto	190
Tabla 62	Resistencia característica de probetas 175 kg/cm ²	191
Tabla 63	Resistencia característica de probetas 210 kg/cm ²	191
Tabla 64	Resistencia característica de probetas PET al 10%	194
Tabla 65	Resistencia característica de probetas PET al 15%	194
Tabla 66	Resistencia característica de probetas PET al 20%	194
Tabla 67	Denominación en siglas de ladrillos patrón y de plástico	198
Tabla 68	Dimensiones y volumen del ladrillo PET	199
Tabla 69	Número de ladrillos patrón para ensayos de albañilería	199
Tabla 70	Número de ladrillos patrón total.....	199
Tabla 71	Número de ladrillos PET para ensayos de albañilería.....	200
Tabla 72	Número de ladrillos PET total.....	200
Tabla 73	Insumos de materiales por tandas para ladrillo patrón 175 kg/cm ²	201

Tabla 74	Insumos de materiales por tandas para ladrillo patrón 210 kg/cm ²	201
Tabla 75	Insumos de materiales por tandas para ladrillo 10% PET 175 kg/cm ²	202
Tabla 76	Insumos de materiales por tandas para ladrillo 15% PET 175 kg/cm ²	203
Tabla 77	Insumos de materiales por tandas para ladrillo 20% PET 175 kg/cm ²	203
Tabla 78	Peso de ladrillos de arcilla	210
Tabla 79	Variación dimensional de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	211
Tabla 80	Alabeo en ladrillos de arcilla	213
Tabla 81	Resistencia a compresión de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	214
Tabla 82	Porcentaje de absorción de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	216
Tabla 83	Contenido de humedad de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	217
Tabla 84	Succión en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	218
Tabla 85	Porcentajes de vacíos promedio en ladrillos de arcilla	220
Tabla 86	Peso por dosificación de ladrillos concreto - PET	221
Tabla 87	Variación dimensional por dosificación de ladrillos concreto - PET	223
Tabla 88	Alabeo por dosificación de ladrillos concreto - PET	224
Tabla 89	Resistencia a compresión de ladrillo patrón f'c 175 kg/cm ²	226
Tabla 90	Resistencia a compresión de ladrillo patrón f'c 210 kg/cm ²	227
Tabla 91	Resistencia a compresión de ladrillo PET al 10%	227
Tabla 92	Resistencia a compresión de ladrillo PET al 15%	228
Tabla 93	Resistencia a compresión de ladrillo PET al 20%	229
Tabla 94	Resistencia a compresión por dosificación de ladrillos concreto – PET	230
Tabla 95	Porcentaje de absorción por dosificación de ladrillos concreto - PET	232
Tabla 96	Contenido de humedad por dosificación de ladrillos concreto - PET	233
Tabla 97	Porcentaje de succión por dosificación de ladrillos concreto - PET	234
Tabla 98	Porcentajes de vacíos en ladrillos concreto - PET	235
Tabla 99	Resistencia característica de probetas de mortero	237

Tabla 99	Resistencia en compresión f'm Ladrillera Diamante	238
Tabla 100	Resistencia al corte V'm Ladrillera Diamante	240
Tabla 101	Resistencia a compresión axial de pilas con ladrillos concreto - PET	242
Tabla 102	Resistencia de corte diagonal de muretes con ladrillos concreto -PET	244
Tabla 103	Consumo hídrico Ladrillera El Diamante.....	247
Tabla 104	Resultados de monitoreo de calidad de aire Ladrillera El Diamante.....	248
Tabla 105	Cantidad de agua utilizada en la elaboración de ladrillos concreto -PET	250
Tabla 106	Resultados de Calidad de Aire	251
Tabla 107	Comparación de las propiedades físico - mecánicas entre ladrillos de arcilla y ladrillos PET.....	255
Tabla 108	Clasificación de unidades de albañilería según la norma E.070	257
Tabla 109	Comparación del impacto ambiental entre ladrillos de arcilla y ladrillos PET	257

Índice de Figuras

Figura 1 Flujograma de trabajo	40
Figura 2 Fórmula estructural de polímero	59
Figura 3 Condensación del BHTE para formar el PET	59
Figura 4 Tipos de unidades de albañilería	69
Figura 5 <i>Caja alimentadora</i>	76
Figura 6 <i>Desintegrador</i>	76
Figura 7 <i>Mezcladora</i>	77
Figura 8 <i>Laminadora</i>	77
Figura 9 <i>Extrusora</i>	78
Figura 10 <i>Cortadora</i>	79
Figura 11 <i>Estructura del horno Hoffman</i>	79
Figura 12 <i>Vista externa del horno Hoffman</i>	80
Figura 13 <i>Estructura del horno Túnel</i>	80
Figura 14 <i>Vista del horno Túnel</i>	81
Figura 15 Proceso de elaboración de ladrillos	86
Figura 16 <i>Evolución mensual del precio promedio del ladrillo King kong</i>	91
Figura 17 <i>Evolución anual del precio del ladrillo King kong</i>	92
Figura 18 Trituradora de plástico	98
Figura 19 Máquina de moldeado y compactación	98
Figura 20 Cálculo de variación dimensional de un ladrillo	111
Figura 21 Medidas de alabeo	112
Figura 22 Ensayo de campo para determinar la succión	113
Figura 23 Esquema de roturas de probetas	138
Figura 24 Construcción de prismas de albañilería	139
Figura 25 Ubicación de las mediciones en el prisma	140

Figura 26 Esquemas de modo de falla	141
Figura 27 Fallas típicas de corte en muretes de albañilería	144
Figura 28 Encendido de horno artesanal en Mollebaya	149
Figura 29 Operación de encendido de horno en ladrillera mecanizada.....	149
Figura 30 Distribución de impactos por m ² de pared construida con ladrillos artesanales (en kg de CO ₂ equivalente/m ² de pared construida)	157
Figura 31 Distribución de impactos por m ² de pared construida con ladrillos mecanizados (en kg de CO ₂ equivalente/m ² de pared construida)	157
Figura 32 Cemento Pórtland Wari Tipo I.....	164
Figura 33 Cemento Pórtland Yura Tipo IP Multi - Propósito	165
Figura 34 Cemento Pórtland Yura Tipo HE	166
Figura 35 Arena Gruesa	167
Figura 36 Confitillo.....	168
Figura 37 PET triturado	169
Figura 38 Precio de Cementos Yura	173
Figura 39 Secuencia de pasos para la dosificación de mezclas	178
Figura 40 Ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams, consistencia media	192
Figura 41 Ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams, consistencia semi- seca	192
Figura 42 Ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams, consistencia seca..	193
Figura 43 Probetas de concreto y plástico.....	195
Figura 44 Zoom de composición de plástico en probetas	195
Figura 45 Diseño de la geometría del ladrillo PET	196
Figura 46 Primera pieza del molde del ladrillo PET	197
Figura 47 Segunda pieza del molde del ladrillo PET	198
Figura 48 Centro de Acopio de plástico de Cerro Colorado.....	204

Figura 49	Recopilación de botellas de plástico.....	205
Figura 50	Plástico PET triturado obtenido	205
Figura 51	Mezclado de materiales	206
Figura 52	Verificación de la consistencia de la mezcla	206
Figura 53	Colocado de la mezcla en el molde.....	207
Figura 54	Zona de desmolde de ladrillos PET	208
Figura 55	Desmoldeado de ladrillo.....	208
Figura 56	Ladrillos PET recién desmoldeados	209
Figura 57	Curado de ladrillos PET	209
Figura 58	Peso registrado de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	211
Figura 59	Variación dimensional de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	212
Figura 60	Alabeo en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	214
Figura 61	Resistencia a compresión de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	215
Figura 62	Porcentaje de absorción de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	217
Figura 63	Succión en ladrillos mecanizado de arcilla Diamante	219
Figura 64	Porcentajes de vacíos promedio en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	221
Figura 65	Peso registrado por dosificación de ladrillos concreto - PET.....	222
Figura 66	Variación dimensional por dosificación de ladrillos concreto – PET.....	224
Figura 67	Alabeo por dosificación de ladrillos concreto - PET	225
Figura 68	Resistencia a compresión por dosificación de ladrillos concreto – PET.....	231
Figura 69	Succión de ladrillos concreto - PET.....	235
Figura 70	Porcentajes de vacíos en ladrillos concreto – PET	236
Figura 71	Ensayo de resistencia a la compresión de probeta de mortero	238
Figura 72	Resistencia en compresión f'm Ladrillera Diamante	239

Figura 73 Resistencia a compresión axial – Falla vertical de pilas con ladrillos concreto - PET	243
Figura 74 Resistencia a compresión axial – Falla cónica de pilas con ladrillos concreto - PET	243
Figura 75 Ensayo de corte diagonal de muretes 0%PET , falla por corte	245
Figura 76 Ensayo de corte diagonal de muretes 15%PET , falla por corte	246
Figura 77 Dimensiones de poza de curado	250
Figura 78 Monitoreo de material particulado y gases.....	253
Figura 79 Equipos a utilizar para el estudio ambiental del aire en ladrillos concreto - PET	254
Figura 80 Ámbitos en la gestión de producción de los ladrillos PET	259
Figura 81 Flujograma del proceso del desarrollo del ladrillo PET como producto.....	260

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Impactos generados en cada etapa del ciclo de vida (en kg de CO ₂ equivalente/m ² de pared construida).....	158
Gráfico 2 Peso de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	210
Gráfico 3 Variación dimensional de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	212
Gráfico 4 Alabeo en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	213
Gráfico 5 Resistencia a compresión de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	215
Gráfico 6 Porcentaje de absorción de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante	216
Gráfico 7 Contenido de humedad de ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	218
Gráfico 8 Succión en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	219
Gráfico 9 Porcentajes de vacíos en ladrillos mecanizados de arcilla Diamante.....	220
Gráfico 10 Peso por dosificación de ladrillos concreto - PET	222
Gráfico 11 Variación dimensional por dosificación de ladrillos concreto – PET	223
Gráfico 12 Alabeo por dosificación de ladrillos concreto - PET	225
Gráfico 13 Resistencia a compresión de ladrillo patrón f'c 175 kg/cm ²	226
Gráfico 14 Resistencia a compresión de ladrillo patrón f'c 210 kg/cm ²	227
Gráfico 15 Resistencia a compresión de ladrillo PET al 10%	228
Gráfico 16 Resistencia a compresión de ladrillo PET al 15%	229
Gráfico 17 Resistencia a compresión de ladrillo PET al 20%	230
Gráfico 18 Resistencia a compresión por dosificación de ladrillos concreto – PET	231
Gráfico 19 Porcentaje de absorción por dosificación de ladrillos concreto - PET	232
Gráfico 20 Contenido de humedad por dosificación de ladrillos concreto - PET.....	233
Gráfico 21 Porcentaje de succión por dosificación de ladrillos concreto - PET.....	234
Gráfico 22 Porcentajes de vacíos en ladrillos concreto – PET	236
Gráfico 23 Resistencia a compresión de probetas de mortero	237
Gráfico 24 Resistencia en compresión f'm Ladrillera Diamante.....	239

Gráfico 25	Resistencia al corte V'm Ladrillera Diamante	241
Gráfico 26	Resistencia a compresión axial de pilas con ladrillos concreto - PET	242
Gráfico 27	Resistencia de corte diagonal de muretes con ladrillos concreto –PET	245
Gráfico 28	Resultados de emisión de Partículas PM ₁₀ , Ladrillera El Diamante	248
Gráfico 29	Resultados de emisión de gases, Ladrillera El Diamante	249
Gráfico 30	Resultados de Partículas PM ₁₀	252
Gráfico 31	Resultados de gases emitidos	253

